Title	併殺を考慮したマルコフ連鎖に基づく投手評価指標とその1997年度日本プロ野球シーズンでの考察 (最適化のための連続と離散数理)
Author(s)	穴太, 克則
Citation	数理解析研究所講究録 (1999), 1114: 114-125
Issue Date	1999-11
URL	http://hdl.handle.net/2433/63391
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

数理解析研究所講究録
1114 巻 1999 年 114-125

併殺を考慮したマルコフ連鎖に基づく投手評価指標とその 1997 年度日本プロ野球シーズンでの考察

穴太克則 南山大学
KATSUNORI ANO, NANZAN UNIVERSITY

和文概要 野球における投手評価指標として, DERA に併殺効果を導入したシンプルなモデルである MDERA を提案する. 順位相関係数の検定と回帰の分散分析からは防御率の代替指標として, MDERA を支持する結果が得られる.

1. はじめに

野球における投手の評価指標には, 防御率 (以下, ERA(Earned Run Average) と記す), 奪三振率, 勝率等がある. ERA はある一人の投手が 1 試合投げたときの自責点を表す指標であり, その投手個人の力を測っている. 勝率や勝数は, 自チームの攻撃力により左右されるので, 投手個人の力を正確には測っているとは言い難い. したがって, 全球団の中で投手一人ひとりの評価をしたいときには ERA の方が優れていると言えよう. ERA 以外に投手評価指標としては, 特定の投手が 9 回を投げたときの被期待得点を与える Defensive Earned Run Average(DERA) が良く知られている. DERA は, 後に詳しく述べるが野球を 1 つの吸収状態を持つマルコフ連鎖と見なすことを基礎に算出される. しかしながら, 意外にも DERA を計算してみると ERA よりかなり高くなってしまい, 実用的でなくなってしまう. ひとつの原因として DERA は三振は考慮しているにもかかわらず併殺を考慮していないことが考えられる. 失点を少なくするには, 安打を打たれないことがもちろん大きく影響するが, ピンチにおいて, (1) 三振を取ることができる, (2) 併殺に打ち取ることができる, 能力が高いことも影響する. 三振はワンアウトでしかないが, 併殺はツーアウトを取ることができるので, もしランナーを背負って内野ゴロを打たせ高い確率で併殺を取れる投手は失点が少なくなるはずである. 一般に速球投手は三振を取る確率が高く, 落ちる球を投げる投手は併殺を取る確率が高い. 三振も取れ併殺も取れる双方の能力の高い投手は良い投手であると言える. しかし, 球は速くないが変化球を駆使した技巧派投手と変化球の球種は少ない速球投手はどちらが良いかはいちがいには判断し難い. このように考えると併殺を加味し, より現実に近づけた投手評価指標を考えることができれば興味深いと思える. 本論文では, DERA に併殺を加味したより現実に近づいた投手評価指標 (Modified Defensive Earned Run Average, MDERA

Typeset by $\mathcal{A}_{\mathcal{M}}\mathcal{S}$-TEX

と称す) を提案し, ERA,DERA,MDERA を比較, 検討する. 具体例として 1997 年度シーズンにおける日本プロ野球で規定投球回数に達した投手を取り上げる.

DERA は, Cover and Keilers(1977) によって提唱されたある特定の打者が 9 回全打席に立ったときの期待得点を与える指数である Offensive Earned Run Average(OERA) の投手版である. OERA に盗塁の要素を加味し, 言わば選手の「走攻」を評価する値は穴太 (1998) によって提案され興味深い結果が報告されている. 木下 (1993) では日本プロ野球においての歴代名選手を含んだ OERA の豊富な計算例が報告されている. また野球をマルコフ連鎖と見なした研究は, Trueman(1977), D'Espo and Lefkowitz(1977), Bellman(1977) がある. MDERA は,「ある特定の投手が 9 回投げたときの被期待得点」である. 算出方法は DERA の場合を少し修正するだけの簡単なものである. その意味で理論的な新手法を提案しているわけではない. にもかかわらず, ERA と DERA, MDERA の差を比較してみると, 後者の差がかなり縮まり, 併殺を考慮するだけで実用性が高まるのは注目に値する.

2 章で MDERA の導出法をできるだけ簡潔かつ明快に述べた. 3 章では日本プロ野球 1997 年度シーズンの具体例を取り上げ, 幾つかの興味深い結果を見て取り, 更に 4 章で統計的考察を加える. 順位相関係数の検定と回帰分析の R^2 の比較からは, ERA の代わりに投手評価の指標として活用するには, DERA より MDERA が良いと言えることを支持する結果が得られる. 尚, MDERA の計算は Mathematica 3.0.1 を, 検定, 回帰分析, 分散分析には SPSS 7.5J を使用している.

2. MDERA モデル

まず, アウトカウントとランナーがどこにいるのかによって野球の状態を下図のように定義する.

状態.

ランナー	なし	1塁	2塁	3塁	1,2塁	1,3塁	2,3塁	満塁
ノーアウト	1	2	3	4	5	6	7	8
ワンアウト	9	10	11	12	13	14	15	16
ツーアウト	17	18	19	20	21	22	23	24
スリーアウト	0							

状態空間を S とすると $S = \{0, 1, \cdots, 24\}$ であり, スリーアウトを 0, ノーアウトランナーなしを 1, ノーアウトランナー 1 塁を 2, $\cdots$, ツーアウト満塁を 24 とする. 次に, 状態がどのように推移するかの規則を明確にしておく.

規則.

(1) 犠打はすべて計算されない.

(2) エラーはアウトとして計算される．すなわち，守備力は投手力と独立である．

(3) アウトによってランナーは進塁しない．

(4) 単打は一塁ランナーを三塁へ進塁させ，二塁ランナーと三塁ランナーをホームへ生還させる．

(5) 二塁打と三塁打は一塁ランナー，二塁ランナー，三塁ランナーすべてをホームへ生還させる．

(6) 以下の状態で内野ゴロのときは併殺打となり得点はされず，次のように状態が移る．三重殺は考えないとする．

- ノーアウト・一塁 → ツーアウトランナーなし (状態 2 → 状態 17)
- ノーアウト・一塁二塁 → ツーアウト一塁 (状態 5 → 状態 18)
- ノーアウト・一塁三塁 → ツーアウト三塁 (状態 6 → 状態 20)
- ノーアウト・満塁 → ツーアウト二塁三塁 (状態 8 → 状態 23)
- ワンアウト・一塁 → スリーアウト (状態 10 → 状態 0)
- ワンアウト・一塁二塁 → スリーアウト (状態 13 → 状態 0)
- ワンアウト・一塁三塁 → スリーアウト (状態 14 → 状態 0)
- ワンアウト・満塁 → スリーアウト (状態 16 → 状態 0)

次に特定の投手の対打者に関する確率を以下の様にして定義する．

対打者に関する確率．

$$\begin{aligned}
p_0 &= P_r(\text{内野ゴロ以外の被凡打数} + \text{奪三振数}) \\
&= \frac{(\text{被凡打数} + \text{奪三振数}) - (\text{被内野ゴロ数})}{\text{打数} + \text{与四死球数}} \\
p_H &= P_r(\text{被内野ゴロ}) = \frac{\text{被内野ゴロ数}}{\text{打数} + \text{与四死球数}} \\
p_B &= P_r(\text{与四死球}) = \frac{\text{与四死球数}}{\text{打数} + \text{与四死球数}} \\
p_1 &= P_r(\text{被単打}) = \frac{\text{被単打数}}{\text{打数} + \text{与四死球数}} \\
p_2 &= P_r(\text{被二塁打}) = \frac{\text{被二塁打数}}{\text{打数} + \text{与四死球数}} \\
p_3 &= P_r(\text{被三塁打}) = \frac{\text{被三塁打数}}{\text{打数} + \text{与四死球数}} \\
p_4 &= P_r(\text{被本塁打}) = \frac{\text{被本塁打数}}{\text{打数} + \text{与四死球数}}
\end{aligned}$$

規則 6 より状態 2,5,6,8,10,13,14,16 において内野ゴロに打ちとれば併殺になり，それ以

外の状態において内野ゴロに打ちとれば併殺でなくアウトカウントを1つ得ることになることに注意されたし.

推移確率行列.

状態 i から j への 1 段階の推移確率を $p(j|i)$ とする. 推移確率行列 $P = (P_{ij}) = p(j|i)$, $i, j = 0, 1, \cdots, 24$ は次のようになる.

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ T & Q \end{bmatrix}$$

規則に従えば, T, Q は次の様に表わされる.

$$T = \begin{array}{c} \\ 1 \\ \vdots \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \\ 13 \\ 14 \\ 15 \\ 16 \\ 17 \\ \vdots \\ 24 \end{array} \begin{array}{c} 0 \\ \left[\begin{array}{c} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ p_H \\ 0 \\ 0 \\ p_H \\ p_H \\ 0 \\ p_H \\ p_0 + p_H \\ \vdots \\ p_0 + p_H \end{array}\right] \end{array}, \quad Q = \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ 8 \\ 9 \\ \vdots \\ 16 \\ 17 \\ \vdots \\ 24 \end{array} \left[\begin{array}{ccc} Q_{11} & Q_{12} & Q_H \\ \\ Q_0 & Q_{11} & Q_{12} \\ \\ Q_0 & Q_0 & Q_{11} \end{array}\right]$$

ここで,

$$Q_0 = 0 \quad (8 \times 8 \text{ の零行列}),$$

$$Q_{11} = \begin{bmatrix} p_4 & p_B + p_1 & p_2 & p_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_4 & 0 & p_2 & p_3 & p_5 & p_1 & 0 & 0 \\ p_4 & p_1 & p_2 & p_3 & p_5 & 0 & 0 & 0 \\ p_4 & p_1 & p_2 & p_3 & 0 & p_B & 0 & 0 \\ p_4 & 0 & p_2 & p_3 & 0 & p_1 & 0 & p_B \\ p_4 & 0 & p_2 & p_3 & 0 & p_1 & 0 & p_B \\ p_4 & p_1 & p_2 & p_3 & 0 & 0 & 0 & p_B \\ p_4 & 0 & p_2 & p_3 & 0 & p_1 & 0 & p_B \end{bmatrix},$$

$$Q_{12} = \begin{bmatrix} p_0 + p_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_0 + p_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_0 + p_H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_0 + p_H & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_0 \end{bmatrix},$$

$$Q_H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_H & 0 \end{bmatrix}.$$

例えば, 状態 12(ワンアウトランナー三塁) から状態 20(ツーアウトランナー三塁) になるのは, 内野ゴロで打ち取るか, 内野ゴロ以外の凡打で打ち取る場合に限られるから, 推移確率は, $p(20|12) = p_0 + p_H$ となる. 同様にして他の推移確率を計算できる. 次に各状態における被期待得点を求めよう.

各状態における被期待得点.

状態 i における被期待得点を $R(i)$ とすると, 規則に従えば次の様に表すことができる.

$$R = \begin{bmatrix} R(1) \\ R(2) \\ \vdots \\ R(24) \end{bmatrix} = \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ 8 \\ 9 \\ \vdots \\ 16 \\ 17 \\ \vdots \\ 24 \end{array} \begin{bmatrix} \\ R_1 \\ \\ \\ R_1 \\ \\ \\ R_1 \\ \\ \end{bmatrix},$$

ここで,

$$R_1 = \begin{bmatrix} p_4 \\ 2p_4 + p_2 + p_3 \\ 2p_4 + p_3 + p_2 + p_1 \\ 2p_4 + p_3 + p_2 + p_1 \\ 3p_4 + 2p_3 + 2p_2 + p_1 \\ 3p_4 + 2p_3 + 2p_2 + p_1 \\ 3p_4 + 2p_3 + 2p_2 + 2p_1 \\ 4p_4 + 3p_3 + 3p_2 + 2p_1 + p_B \end{bmatrix}.$$

例えば, 状態 10(ワンアウトランナー一塁) において得点されるのは, 二塁打を打たれて 1 点の場合, 三塁打を打たれて 1 点の場合, 本塁打を打たれて 2 点の場合に限られるから, 状態 10 における被期待得点は $R(10) = 2p_4 + p_3 + p_2$ となる. 他も同様にして計算される.

MDERA の計算

$E(i)$ を状態 i から始まる 1 イニングの被期待得点とする. 各イニングは状態 1 より始まるので,1 イニングの被期待得点は $E(1)$ となる. したがって,$E(1)$ の値を計算できれは, それを 9 イニング倍することにより MDERA が求まる. すなわち, 特定の投手の MDERA は,

$$MDERA = 9E(1),$$

により与えられる.$E(i)$ の計算方法を述べる. 状態 i から状態 j に移ったときの被得点を $R(j,i)$ とする. このときマルコフ連鎖の First Step Analysis (例えば, Taylor and Kerlin(1994) 参照) より,

$$E(i) = \sum_{j=1}^{24} p(j|i)\{R(j,i) + E(j)\},\ i = 1, \cdots, 24, \tag{1.1}$$

が成立する. $\sum_{j=1}^{24} p(j|i)R(j,i)$ は状態 i における被期待得点を表すので, $R(i)$ の定義と等しく,

$$R(i) = \sum_{j=1}^{24} p(j|i)R(j,i),\ i = 1, \cdots, 24,$$

となる. ここで, R,E を

$$R = \begin{bmatrix} R(1) \\ \vdots \\ R(24) \end{bmatrix}, \qquad E = \begin{bmatrix} E(1) \\ \vdots \\ E(24) \end{bmatrix}$$

のようにベクトルで書けば, (1.1) 式は $E = R + QE$ となり, E は,

$$E = (I - Q)^{-1}R \tag{1.2}$$

により求まる. $E(1)$ はベクトル E の要素となり, これを 9 倍することにより MDERA は得られる.

3. 1997 年度 日本プロ野球における例

日本プロ野球の 1997 年度シーズンにおいて, セ・パ両リーグで規定投球回数に達した投手の DERA・MDERA の計算結果を紹介する. 残念ながら, 内野ゴロに打ち取った回数のデータをそろえることが大変難しかった. それゆえに, ここでは, 規定投球回数に達した投手の奪併殺数を 1997 年度シーズン中のスポーツ新聞より割り出し, 内野ゴロに打ち取った回数 = 7× 奪併殺数を近似値として採用した. それ以外の各投手のデータは, 例えば参考文献

[2] のレコードブックから易すく入手できる. 例えば, パリーグ防御率 1 位の小宮山の場合は, 打者 712 人に対して, 三振以外の打たれてアウトにした回数が 364 回であり, 併殺数の 7 倍は $7 \times 17 = 119$ 回となる. この程度は内野ゴロでのアウトであり, それ以外は内野フライ, 外野フライ, 稀に外野ゴロでのアウトと察するのは妥当そうであるという考察を基にしている (データが揃わなかったので統計的な検証はしていない) . それゆえに, 内野ゴロ総数が正確であるときの MDERA とは誤差があることに注意してほしい. 表 1~4 の MDERA は 7 倍に対する値である. 付録として表 5~7 に 3 倍 ~11 倍とした MDERA の値と回帰分析による決定係数および順位相関係数を載せた. 比較のための参考としてほしい.

尚, 表中の記号はそれぞれ次の意味である. AB: 打数, W: 勝利数, L: 敗戦数, H: 非安打数, 2B: 被二塁打数, 3B: 被三塁打数, HR: 被本塁打数, BB: 与四死球数, DP: 奪併殺数, ERA: 防御率, (注 1: H の中に 2B,3B,HR の数を含む. 注 2: DERA, MDERA の ( ) 内は順位を示す)

表 1: 1997 年度セ・リーグ規定投球回数以上の投手の MDERA

	投手	W	L	AB	H	2B	3B	HR	BB	DP	ERA	DERA	MDERA
1	大野 (広)	9	6	508	121	19	3	7	47	12	2.85	3.42582(3)	3.00541(4)
2	山本 (中)	18	7	761	174	25	7	26	60	19	2.92	3.74683(5)	3.36110(6)
3	田畑 (ヤ)	15	5	627	160	19	5	15	47	21	2.96	3.93033(7)	3.29406(5)
4	吉井 (ヤ)	13	6	632	149	18	3	15	54	25	2.99	3.49397(4)	2.85075(3)
5	竹内 (神)	8	6	516	126	21	1	9	68	19	3.01	4.19400(9)	3.38236(7)
6	ガルベス (巨)	12	12	704	165	19	0	16	53	23	3.32	3.21949(1)	2.71242(1)
7	川村 (横)	10	7	550	113	19	0	27	53	9	3.32	3.84159(6)	3.60956(9)
8	三浦 (横)	10	3	511	113	21	1	9	54	15	3.35	3.30456(2)	2.83732(2)
9	槙原 (巨)	12	9	561	140	26	1	23	38	12	3.46	4.43357(10)	4.04728(11)
10	湯舟 (神)	10	6	518	150	25	1	14	56	19	3.56	5.8693(15)	4.73336(14)
11	薮 (神)	10	12	676	172	24	2	23	72	27	3.59	4.67779(11)	3.80619(10)
12	澤崎 (広)	12	8	608	162	21	2	23	54	12	3.74	4.90763(12)	4.43244(12)
13	桑田 (巨)	10	7	522	127	21	3	15	42	14	3.77	3.97799(8)	3.50139(8)
14	野村 (横)	10	8	559	153	21	3	20	47	8	3.89	5.0597(13)	4.69547(13)
15	黒田 (広)	6	9	511	147	21	3	17	67	21	4.40	6.20848(16)	4.89036(15)
16	門倉 (中)	10	12	615	173	35	6	13	106	15	4.73	6.53489(17)	5.63004(17)
17	山内 (広)	7	11	603	172	26	2	23	50	10	5.21	5.53668(14)	5.07458(16)

表 2: 1997 年度パ・リーグ規定投球回数以上の投手の MDERA

	投手	W	L	AB	H	2B	3B	HR	BB	DP	ERA	DERA	MDERA
1	小宮山 (ロ)	11	9	712	186	39	6	8	32	17	2.49	3.63745(2)	3.2314(3)
2	岡本 (近)	10	6	539	138	20	1	14	58	22	2.82	4.45798(10)	3.56098(6)
3	潮崎 (西)	12	7	645	157	22	1	18	59	21	2.90	3.93537(5)	3.32887(5)
4	豊田 (西)	10	6	547	128	25	3	14	56	10	2.93	3.96792(6)	3.62917(9)
5	小池 (近)	15	6	641	137	23	3	14	103	20	2.96	3.8716(4)	3.26171(4)
6	黒木 (ロ)	12	15	882	206	38	7	24	88	20	2.99	3.97983(7)	3.5718(7)
7	西口 (西)	15	5	773	187	36	5	20	73	17	3.12	4.10893(8)	3.69189(10)
8	星野 (オ)	14	10	766	194	12	2	16	56	24	3.24	3.42918(1)	2.846(1)
9	野田 (オ)	7	5	562	143	20	2	18	67	15	3.29	4.78804(14)	4.14399(13)
10	工藤 (ダ)	11	6	602	153	12	1	14	51	17	3.35	3.73722(3)	3.16614(2)
11	伊藤 (オ)	10	7	506	132	22	3	11	57	14	3.46	4.67481(13)	4.00224(12)
12	下柳 (日)	9	4	545	140	28	3	13	68	15	3.49	4.90859(15)	4.22877(15)
13	グロス (日)	13	11	869	235	33	5	18	78	34	3.63	4.5163(11)	3.616(8)
14	武田 (ダ)	4	9	637	177	24	5	17	42	12	3.85	4.64749(12)	4.20156(14)
15	藪田 (ロ)	5	9	552	144	17	3	16	50	14	3.94	4.43384(9)	3.86408(11)
16	高村 (近)	8	9	573	171	13	3	9	67	10	4.76	5.40029(16)	4.77031(16)

興味深い結果が見て取れる.

1, セ・リーグ, パ・リーグともに ERA と DERA の差が ERA と MDERA の差より大きい. その差は特にパ・リーグにおいて大きい. 併殺を考慮に入れていない分, DERA はかなり上昇する.

2, セ・リーグ, パ・リーグともに ERA 順位と MDERA 順位はかなり入れ換わる. セ・リーグにおいては ERA 順位 6 位, 8 位のガルベス (巨) と三浦 (横) が MDERA 順位の 1 位, 2 位となる. パ・リーグにおいては, ERA 順位の 8 位, 10 位の星野 (オ), 工藤 (ダ) が MDERA 順位の 1 位, 2 位となる. ERA は, ERA=(自責点 ×9)/投球回数で定義され, 実際の投球回数における自責点という結果を基に, 1 試合での期待自責点を計算している. 一方 MDERA は, 被単打, 被二塁打, 被三塁打, 被本塁打, 与四死球, 奪併殺, 打ち取る, というそれぞれの確率を基に 1 試合当たりの被期待得点を計算している. 一概にどちらが良い指標かとは言えないが, MDERA がひとりひとりの打者に対しての能力を基に計算していることを慮れば, MDERA はよりきめ細かく投手の力を測る指標と言える. その意味から, 1997 年度シーズンにおいては, ガルベス (巨), 三浦 (横), 星野 (オ), 工藤 (ダ) らの ERA 順位と MDERA 順位の変動は興味深い.

4. ERA の代替指標としての MDERA

現在のところ投手の力を測る指標として ERA より良い指標を特定し難い．そこで，ERA を基準に DERA と MDERA の順位相関係数を検定してみる．順位相関がない場合は，DERA と MDERA は投手の良さに順位をつける指標ではないことを示す．すなわち，このとき，DERA, MDERA とも順位付けには使えないとなる．Kendall の τ, Spearman の ρ の順位相関係数を検定してみると，'97 パ・リーグの ERA-DERA の組の Spearman の ρ が有意水準 5%で，それ以外の 7 通りの組の順位相関係数は有意水準 1%で，順位相関がないという仮説は棄却される．特にセ・リーグにおいては，ERA-MDERA の順位相関係数は ERA-DERA のそれより高くなっている．

表 3:ERA との順位相関係数

	DERA		MDERA	
	Kendall の τ	Spearman の ρ	Kendall の τ	Spearman の ρ
'97 セ・リーグ投手	.613	.786	.627	.809
'97 パ・リーグ投手	.467	.659	.483	.647

次に，ERA をそれぞれ DERA と MDERA で回帰分析した結果の R^2 を比較してみる．

表 4:回帰分析の決定係数 R^2

	DERA		MDERA	
	線形回帰	2 次曲線による回帰	線形回帰	2 次曲線による回帰
'97 セ・リーグ投手	.622	.647	.699	.716
'97 パ・リーグ投手	.532	.532	.525	.538

表 4 における 8 組の回帰分析の分散分析をすると，8 組すべてにおいて 1%の有意水準で，「回帰式は ERA の予測に役立たない」という仮説は棄てられる．パ・リーグにおいての，DERA と MDERA の R^2 はそう差はないが，セ・リーグにおいては，MDERA の R^2 がかなり高くなる．これらと，先に調べた順位相関係数の検定より，投手評価の指標として ERA に換えて使うには，DERA より MDERA の方を使うのが良いことを支持する結果が得られる．

謝辞

DERA, MDERA の Mathematica のプログラミングをし，計算を実行してくれた裏川雅之氏に，また，新聞にて併殺数を丹念に調べてくれた大坪雄一郎氏に感謝致します．この研究は日東学術振興財団の助成を受けましたことを記して感謝致します．

参考文献

[1] 穴太克則，マルコフ連鎖に基づく打者評価モデル, Working Paper Series, No.9804, Center for Management Studies, Nanzan University, 1998.

[2] ベースボール・マガジン社, 1997 ベースボール・レコードブック, (ベースボール・マガジン社, 東京, 1997.

[3] R. Bellman, Dynamic Programming and Markov Decision Processes, with Application to Baseball, *Optimal Straregies in Sports*, North-Holland, New York, 1977, 77-85.

[4] T. M. Cover and C. W. Keilers, An Offensive Earned-Run Average for Baseball, *Operations Research*, **25**, 1977, 729-740.

[5] D. A. D'Espo and B. Lefkowitz, The Distribution of Runs in the Game of Baseball, *Optimal Straregies in Sports*, North-Holland, New York, 1977, 55-62.

[6] 木下栄蔵，マネジメントサイエンス入門，啓学出版，東京, 1993.

[7] 竹内啓，藤野和健，スポーツの数理科学，共立出版，東京，1988.

[8] H. M. Taylor and S. Karlin, *An Introduction to Stochastic Modeling*, Revised Edition, Academic Press, San Diego, 1994.

[9] R. E. Trueman, Analysis of Baseball as a Markov Process, *Optimal Straregies in Sports*, North-Holland, New York, 1977, 68-76.

[10] 中日スポーツ新聞，1997 年，中日新聞社.

付録

表 5: 1997 年度セ・リーグ規定投球回数以上投手
内野ゴロ総数=x × 奪併殺数により計算した MDERA

投手 \ x	3	4	5	6	7	8	9	10	11
大野 (広)	2.70493	3.17791	3.11913	3.06163	3.00541	2.95047	2.89680	2.84441	2.79331
山本 (中)	3.15474	3.51927	3.46536	3.41263	3.36110	3.31075	3.26160	3.21363	3.16685
田畑 (ヤ)	3.12773	3.54932	3.46133	3.37624	3.29406	3.21480	3.13840	3.06493	2.99436
吉井 (ヤ)	2.80502	3.10575	3.01730	2.93230	2.85075	2.77264	2.69797	2.62675	2.55897
竹内 (神)	3.25488	3.70547	3.59365	3.48594	3.38236	3.28290	3.18756	3.09634	3.00925
ガルベス (巨)	2.57823	2.91651	2.84628	2.77825	2.71242	2.64880	2.58738	2.53817	2.47116
川村 (横)	3.33977	3.70637	3.67366	3.64139	3.60956	3.57817	3.54722	3.52671	3.48663
三浦 (横)	2.72140	3.02712	2.96211	2.89885	2.83732	2.77754	2.71949	2.66319	2.60863
槙原 (巨)	3.77651	4.20666	4.15250	4.09937	4.04728	3.99621	3.94617	2.89715	3.84917
湯船 (神)	4.64573	5.18318	5.02707	4.87713	4.73336	4.59575	4.46432	4.33905	4.21996
藪 (神)	3.77651	4.15063	4.03097	3.91616	3.80619	3.70108	3.60082	3.50541	3.41485
澤崎 (広)	4.00883	4.62866	4.56201	4.49661	4.43244	4.36951	4.30782	4.24737	4.18816
桑田 (巨)	3.29923	3.69583	3.62938	3.56457	3.50139	3.43985	3.37994	3.32167	3.26504
野村 (横)	4.12801	4.84748	4.79613	4.74546	4.69547	4.64616	4.59753	4.54959	4.50232
黒田 (広)	4.86760	5.40658	5.22639	5.05432	4.89036	4.73452	4.58679	4.44718	4.31568
門田 (中)	5.29021	5.99936	5.87322	5.75007	5.63004	5.51308	5.39921	5.28841	5.18069
山内 (広)	4.57822	5.26648	5.20149	5.13752	5.07458	5.01266	4.95176	4.89189	4.83305

表 6: 1997 年度パ・リーグ規定投球回数以上投手
内野ゴロ総数=x × 奪併殺数により計算した MDERA

投手 \ x	3	4	5	6	7	8	9	10	11
小宮山 (ロ)	2.99543	3.39797	3.34120	3.28568	3.23140	3.17835	3.12656	3.07600	3.02668
岡本 (近)	3.53859	3.91434	3.79138	3.67359	3.56098	3.45355	3.35129	3.25422	3.16231
潮崎 (西)	3.17588	3.57298	3.48897	3.07600	3.32887	3.25277	3.17931	3.10849	3.04030
豊田 (西)	3.22339	3.76978	3.72215	3.67528	3.62917	3.58383	3.53925	3.49543	3.45237
小池 (近)	3.09486	3.50838	3.42370	3.34148	3.26171	3.18440	3.10953	3.03712	2.96716
黒木 (ロ)	3.29432	3.73978	3.68263	3.62664	3.57180	3.51811	3.46556	3.41417	3.36393
西口 (西)	3.44914	3.86372	3.80529	3.74802	3.69189	3.63692	3.58310	3.53043	3.47891
星野 (オ)	2.67519	3.08059	2.99984	2.92164	2.84600	2.77292	2.70240	2.63444	2.56903
野田 (オ)	3.85173	4.40617	4.31647	4.22908	4.14399	4.06121	3.98073	3.90256	3.82669
工藤 (ダ)	3.02915	3.39753	3.31817	3.24104	3.16614	3.09347	3.02303	2.95481	2.88882
伊藤 (オ)	3.78327	4.27539	4.18182	4.09077	4.00224	3.91623	3.83273	3.75175	3.67329
下柳 (日)	4.05971	4.50519	4.41056	4.31842	4.22877	4.14161	4.05693	3.97475	3.89505
グロス (日)	3.52010	3.97151	3.84795	3.72945	3.61600	3.50761	3.40428	3.30600	3.21277
武田 (ダ)	3.76343	4.38595	4.32337	4.26190	4.20156	4.14234	4.08424	4.02727	3.97141
藪田 (ロ)	3.52017	4.09658	4.01713	3.93963	3.86408	3.79048	3.71882	3.64911	3.58135
高村 (近)	4.12184	5.03066	4.94227	4.85549	4.77031	4.68675	4.60479	4.52443	4.44569

表 7: 1997 年度セ・パ両リーグ．内野ゴロ総数=x × 奪併殺数
により計算した MDERA と ERA の順位相関係数，
及び回帰分析による決定係数

x	セ・リーグ				パ・リーグ			
	Kendall の τ	Spearman の ρ	線形回帰 R^2	2 次回帰 R^2	Kendall の τ	Spearman の ρ	線形回帰 R^2	2 次回帰 R^2
3	.637	.815	.663	.691	.433*	.597*	.403	.404
4	.613	.787	.677	.698	.450	.644	.542	.550
5	.613	.804	.686	.706	.483	.674	.538	.547
6	.627	.809	.694	.712	.500	.682	.535	.542
7	.627	.809	.699	.716	.483	.647	.525	.538
8	.642	.822	.702	.719	.483	.632	.517	.531
9	.627	.819	.704	.719	.467*	.621*	.507	.523
10	.583	.775	.702	.707	.467*	.621*	.497	.514
11	.613	.808	.703	.716	.467*	.621*	.487	.505

Kendall の τ，Spearman の ρ の $*$ 印は 5%水準で有意． 無印は 1%水準で有意．